

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
27 octobre 2005 (27.10.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2005/100912 A1

(51) Classification internationale des brevets⁷ : **G01C 5/00**

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2005/050770

(22) Date de dépôt international :
23 février 2005 (23.02.2005)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
04 02870 19 mars 2004 (19.03.2004) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US)
: **THALES** [FR/FR]; 45 rue de Villiers, F-92200
NEUILLY/SUR/SEINE (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **BITAR,**
Elias [FR/FR]; THALES Intellectual Property, 31/33

Avenue Aristide Briand, F-94117 ARCUEIL Cedex (FR).
MARTY, Nicolas [FR/FR]; THALES Intellectual Prop-
erty, 31/33 Avenue Aristide Briand, F-94117 ARCUEIL
Cedex (FR).

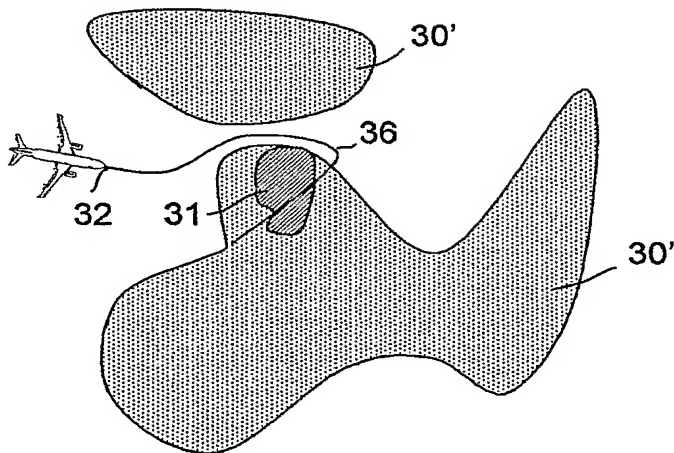
(74) Mandataires : **BEYLOT, Jacques** etc.; Thales Intellec-
tual Property, 31/33 Avenue Aristide Briand, F-94117 Ar-
cueil Cedex (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,
KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG,
MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,
PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,
ZW.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD FOR LOCATING DIFFICULT ACCESS POINTS ON A MAP

(54) Titre : PROCEDE DE REPERAGE, SUR UNE CARTE, DE POINTS DIFFICILES D'ACCES



(57) Abstract: The invention concerns a method
for locating difficult access points on a topological
map or a zone flown over by an aircraft, plotted
from a map of curvilinear distances taking into
account the vertical profile of the aircraft flight
which consists in analyzing the curvilinear distance
map, using a chamfer mask indexing approximate
values $C(V)$ of the Euclidean distances separating
a point C_{00} of the map from its nearest neighbours
 V , to extract therefrom, in each point C_{00} of the
map of curvilinear distances, the differences
 $IDT(V)-DT(0)|$ of the curvilinear distances
separating the C_{00} point concerned from its
nearest neighbours, comparing said differences
 $IDT(V)-DT(0)|$ with approximate values $C(V)$ of
the Euclidean distances of the chamfer mask and
qualifying the point concerned as being difficult
of access when a difference is observed between
Euclidean distance and difference of curvilinear
distances. Said tracking is useful for signalling

reliefs non accessibles par le plus court trajet mais accessibles après contournement.

(57) Abrégé : Le repérage de points difficiles d'accès, sur une carte topologique de la zone survolée par un aéronef, tracée à partir d'une carte de distances curvilignes tenant compte du profil vertical de vol de l'aéronef se fait en analysant la carte de distances curvilignes, au moyen d'un masque de chanfrein répertoriant les valeurs approchées $C(V)$ des distances euclidiennes séparant un point C_{00} de la carte de ses plus proches voisins V , pour en extraire, en chaque point C_{00} de la carte de distances curvilignes, les écarts $IDT(V)-DT(0)|$ de distances curvilignes séparant le point considéré C_{00} de ses plus proches voisins V , comparer ces écarts $IDT(V)-DT(0)|$ avec les valeurs approchées $C(V)$ des distances euclidiennes du masque de chanfrein et qualifier, le point considéré, de difficile d'accès lorsqu'une différence est constatée entre distance euclidienne et écart de distances curvilignes. Ce repérage s'avère utile pour signaler les reliefs non accessibles par un trajet au plus court mais accessibles après contournement.

WO 2005/100912 A1



(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

PROCEDE DE REPERAGE, SUR UNE CARTE, DE POINTS DIFFICILES D'ACCES

La présente invention relative au repérage de points difficiles
5 d'accès, sur une carte topologique tracée à partir d'une carte de distances curvilignes.

Lorsqu'il s'agit d'une carte de la zone survolée par un aéronef, tracée à partir d'une carte de distances curvilignes tenant compte du profil vertical de vol de l'aéronef, les points difficiles d'accès, qui sont ceux dont les
10 distances curvilignes excèdent largement les distances euclidiennes, correspondent à des zones de relief dangereuses pour l'aéronef, la qualification de dangereuse s'appliquant à toute zone de relief ne pouvant être franchie directement par l'aéronef à partir de sa position actuelle compte tenu de ses performances en virage et en montée.

15 La demanderesse a déjà proposé, dans une demande de brevet français déposée le 26/9/2003, sous le n°0311320, un procédé d'estimation, sur une carte extraite d'une base de données d'élévations du terrain, des distances curvilignes séparant les points de la carte, d'un point de référence pris pour origine des distances compte tenu d'obstacles à contourner dont
20 les contours peuvent évoluer au fil du temps de parcours des distances curvilignes comme c'est le cas pour un aéronef dont la position actuelle correspond à celle du point pris pour origine des mesures des distances et qui doit respecter un profil vertical de vol avec des variations d'altitude faisant qu'un même relief menaçant à un certain moment ne l'est plus à un autre ou
25 inversement. Ce procédé met en œuvre une transformée de distance par propagation également connue sous la dénomination de transformée de distance à masque de chanfrein parce qu'elle utilise un tableau dit "masque de chanfrein" répertoriant les valeurs approchées des distances euclidiennes séparant un point de la carte de ses plus proches voisins.

30 Le tableau formé par les distances curvilignes estimées pour l'ensemble des points d'une carte est appelé, par commodité, carte de distances curvilignes. Il n'est pas particulièrement destiné à être affiché mais plutôt à servir au traçage de cartes à afficher montrant certaines spécificités du relief.

35 Dans le cas d'un aéronef, la carte de distances curvilignes concerne la région survolée et a, pour point de référence pris pour origine

2

des mesures des distances curvilignes, un point proche de la position courante de l'aéronef. Elle sert au traçage d'une carte, souvent en deux dimensions, qui est affichée sur la planche de bord et montre, en fausses couleurs, un découpage de la région survolée en zones délimitées en fonction de la capacité de l'aéronef à les franchir et du temps que celui-ci mettrait à les atteindre lorsqu'elles sont franchissables, par exemple rouge pour des reliefs infranchissables, aucun cheminement n'étant possible, jaune pour des reliefs lointains ou proches au sens de la distance euclidienne mais uniquement franchissables par un cheminement détourné et verte pour des reliefs proches au sens de la distance euclidienne, franchissables par un cheminement direct.

Une carte du relief survolé, établie à partir d'une carte de distances curvilignes a l'inconvénient de ne pas donner d'informations très explicites sur l'importance du détour à accomplir lorsqu'il faut en faire un, ce qui pousse à minorer, par prudence, les zones représentées en jaune au profit de celles représentées en rouge.

Il est possible d'obtenir ces informations sur l'importance du détour à accomplir, à partir du calcul des distances euclidiennes et de leurs comparaisons aux distances curvilignes mais il faut tenir compte dans ces comparaisons de la présence des obstacles à contourner et cela conduit à une augmentation considérable des calculs nécessaires au traçage de la carte affichée.

La présente invention a pour but de lutter contre cet inconvénient, en faisant apparaître, sur une carte du relief, établie à partir d'une carte de distances curvilignes, des informations graphiques sur l'importance du détour nécessaire pour accéder à un point et donc, pour un aéronef, sur la dangerosité du relief en ce point, sans pour autant faire appel explicitement au calcul des distances euclidiennes.

Elle a pour objet un procédé de repérage de points difficiles d'accès sur une carte topologique établie à partir d'une carte de distances curvilignes remarquable en ce que l'on analyse la carte de distances curvilignes, au moyen d'un masque de chanfrein répertoriant les valeurs approchées des distances euclidiennes séparant un point de la carte de ses plus proches voisins, pour en extraire, en chaque point de la carte de distances curvilignes, les écarts de distances curvilignes séparant le point

3

considéré de ses plus proches voisins, comparer ces écarts avec les valeurs approchées des distances euclidiennes du masque de chanfrein et qualifier le point considéré de difficile d'accès lorsqu'une différence apparaît.

Avantageusement, la différence constatée est comparée à plusieurs seuils afin de ménager des degrés dans la qualification de difficile d'accès.

Avantageusement, les points de la carte de distances curvilignes qualifiés de difficiles d'accès sont repérés sur la carte topologique établie à partir de la carte de distances curvilignes par un motif et/ou une texture particulière.

Avantageusement, lorsque plusieurs seuils de comparaison sont utilisés afin de ménager des degrés dans la qualification de difficile d'accès, ces degrés sont mis en évidence sur la carte topologique par des motifs et/ou textures différents.

Avantageusement, le masque de chanfrein utilisé pour le repérage des points difficiles d'accès est de dimension 3x3.

Avantageusement, le masque de chanfrein utilisé pour le repérage des points difficiles d'accès est de dimension 5x5.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description ci-après, d'un exemple de réalisation. cette description sera faite en regard du dessin dans lequel :

- une figure 1 représente un exemple de carte de distances curvilignes couvrant une zone où évolue un mobile et ayant la position du mobile comme origine des mesures de distance,
- une figure 2 représente un exemple de masque de chanfrein utilisable par une transformée de distance par propagation,
- des figures 3a et 3b montrent les cellules du masque de chanfrein illustré à la figure 2, qui sont utilisées dans une passe de balayage selon l'ordre lexicographique et dans une passe de balayage selon l'ordre lexicographique inverse,
- une figure 4 illustre la notion de trajectoire directe pour un aéronef,
- des figures 5a, 5b et 6a, 6b illustrent, en projections verticales et horizontales, une situation de vol dans laquelle un relief constitue

4

un obstacle infranchissable par une trajectoire au plus court mais franchissable par une trajectoire de contournement,

- une figure 7 montre le profil de vol adopté pour la cartes de distances curvilignes, montrée à la figure 1,
- 5 - une figure 8 montre les profils vertical et horizontal d'une configuration de relief correspondant à une zone particulière de la carte de distances curvilignes de la figure 1, présentant un rebord partiellement infranchissable (11),
- 10 - une figure 9 montre une indexation utilisée pour le repérage individuel des éléments du masque de chanfrein de la figure 2, et
- une figure 10 est un diagramme logique illustrant les principales étapes d'une analyse au moyen d'un masque de chanfrein faite dans un procédé de repérage selon l'invention.

15 Une carte de distances sur une zone d'évolution est formée de l'ensemble des valeurs des distances des points placés aux nœuds d'un maillage régulier de la zone d'évolution par rapport à un point de la zone pris pour origine des mesures de distance. Comme montré à la figure 1, elle peut être présentée sous la forme d'un tableau de valeurs dont les cases
20 correspondent à un découpage de la zone d'évolution en cellules centrées sur les nœuds du maillage. Le maillage régulier adopté est souvent celui des points d'une base de données d'élévations du terrain couvrant la zone d'évolution. Lorsqu'une carte de distances est utilisée pour la navigation d'un mobile, le point de la zone pris pour origine des mesures de distance est le
25 nœud du maillage le plus proche de la projection au sol de la position instantanée du mobile.

Les cartes de distances sont souvent réalisées en utilisant une transformée de distance par propagation également connue sous la dénomination de transformée de distance à masque de chanfrein.

30 Les transformées de distance à masque de chanfrein sont apparues initialement en analyse d'image pour estimer des distances entre objets. Gunilla Borgefors en décrit des exemples dans son article intitulé "Distance Transformation in Digital Images." paru dans la revue : Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol. 34 pp. 344-378 en février 1986.

5

La distance d'entre deux points d'une surface est la longueur minimale de tous les parcours possibles sur la surface partant de l'un des points et aboutissant à l'autre. Dans une image formée de pixels répartis selon un maillage régulier de lignes, colonnes et diagonales, une transformée de distance par propagation estime la distance d'un pixel dit pixel "but" par rapport à un pixel dit pixel "source" en construisant progressivement, en partant du pixel source, le plus court trajet possible suivant le maillage des pixels et aboutissant au pixel but, et en s'aidant des distances trouvées pour les pixels de l'image déjà analysés et d'un tableau dit masque de chanfrein répertoriant les valeurs des distances entre un pixel et ses proches voisins.

Comme montré à la figure 2, un masque de chanfrein se présente sous la forme d'un tableau avec une disposition de cases reproduisant le motif d'un pixel entouré de ses proches voisins. Au centre du motif, une case affectée de la valeur 0 repère le pixel pris pour origine des distances répertoriées dans le tableau. Autour de cette case centrale, s'agglomèrent des cases périphériques remplies de valeurs de distance de proximité non nulles et reprenant la disposition des pixels du voisinage d'un pixel supposé occuper la case centrale. La valeur de distance de proximité figurant dans une case périphérique est celle de la distance séparant un pixel occupant la position de la case périphérique concernée, d'un pixel occupant la position de la case centrale. On remarque que les valeurs de distance de proximité se répartissent en cercles concentriques. Un premier cercle de quatre cases correspondant aux quatre pixels de premier rang, qui sont les plus proches du pixel de la case centrale, soit sur la même ligne, soit sur la même colonne, sont affectées d'une valeur de distance de proximité D1. Un deuxième cercle de quatre cases correspondant aux quatre pixels de deuxième rang, qui sont pixels les plus proches du pixel de la case centrale placés sur les diagonales, sont affectées d'une valeur de distance de proximité D2. Un troisième cercle de huit cases correspondant aux huit pixels de troisième rang, qui sont les plus proches du pixel de la case centrale tout en restant en dehors de la ligne, de la colonne et des diagonales occupées par le pixel de la case centrale, sont affectées d'une valeur de distance de proximité D3.

Le masque de chanfrein peut couvrir un voisinage plus ou moins étendu du pixel de la case centrale en répertoriant les valeurs des distances de proximité d'un nombre plus ou moins important de cercles concentriques de pixels du voisinage. Il peut être réduit aux deux premiers cercles formés par les pixels du voisinage d'un pixel occupant la case centrale comme dans l'exemple des cartes de distances des figures 1 ou être étendu au-delà des trois premiers cercles formés par les pixels du voisinage du pixel de la case centrale. Il est habituel de s'arrêter à trois premiers cercles comme pour le masque de chanfrein montré à la figure 2. Ce n'est que dans un but de simplification que l'on s'est arrêté au deux premiers cercles pour la carte de distances de la figure 1.

Les valeurs des distances de proximité D1, D2, D3 qui correspondent à des distances euclidiennes sont exprimées dans une échelle dont le facteur multiplicatif autorise l'emploi de nombres entiers au prix d'une certaine approximation. C'est ainsi que G. Borgefors adopte une échelle correspondant à un facteur multiplicatif 3 ou 5. Dans le cas d'un masque de chanfrein retenant les deux premiers cercles de valeurs de distance de proximité, donc de dimensions 3x3, G. Borgefors donne, à la première distance de proximité D1 qui correspond à un échelon en abscisse ou en ordonnées et également au facteur multiplicatif d'échelle, la valeur 3 et, à la deuxième distance de proximité qui correspond à la racine de la somme des carrés des échelons en abscisse et en ordonnée $\sqrt{x^2 + y^2}$, la valeur 4. Dans le cas d'un masque de chanfrein retenant les trois premiers cercles, donc de dimensions 5x5, elle donne, à la distance D1 qui correspond au facteur multiplicatif d'échelle, la valeur 5, à la distance D2, la valeur 7 qui est une approximation de $5\sqrt{2}$, et à la distance D3 la valeur 11 qui est une approximation de $5\sqrt{5}$.

La construction progressive du plus court trajet possible allant à un pixel but en partant d'un pixel source et en suivant le maillage des pixels se fait par un balayage régulier des pixels de l'image au moyen du masque de chanfrein.

Initialement, les pixels de l'image se voient affecter une valeur de distance infinie, en fait un nombre suffisamment élevé pour dépasser toutes les valeurs des distances mesurables dans l'image, à l'exception du pixel source qui se voit affecter une valeur de distance nulle. Puis les valeurs

7

initiales de distance affectées aux points but sont mises à jour au cours du balayage de l'image par le masque de chanfrein, une mise à jour consistant à remplacer une valeur de distance attribuée à un point but, par une nouvelle valeur moindre résultant d'une estimation de distance faite à l'occasion d'une
5 nouvelle application du masque de chanfrein au point but considéré.

Une estimation de distance par application du masque de chanfrein à un pixel but consiste à répertorier tous les trajets allant de ce pixel but au pixel source et passant par un pixel du voisinage du pixel but dont la distance a déjà été estimée au cours du même balayage, à
10 rechercher parmi les trajets répertoriés, le ou les trajets les plus courts et à adopter la longueur du ou des trajets les plus courts comme estimation de distance. Cela se fait en plaçant le pixel but dont on veut estimer la distance dans la case centrale du masque de chanfrein, en sélectionnant les cases périphériques du masque de chanfrein correspondant à des pixels du
15 voisinage dont la distance vient d'être mise à jour, en calculant les longueurs des trajets les plus courts reliant le pixel but à mettre à jour au pixel source en passant par un des pixels sélectionnés du voisinage, par addition de la valeur de distance affectée au pixel du voisinage concerné et de la valeur de distance de proximité donnée par le masque de chanfrein, et à adopter,
20 comme estimation de distance, le minimum des valeurs de longueur de trajet obtenues et de l'ancienne valeur de distance affectée au pixel en cours d'analyse.

Au niveau d'un pixel en analyse par le masque de chanfrein, la recherche progressive des plus courts trajets possibles partant d'un pixel
25 source et allant aux différents pixels but de l'image donne lieu à un phénomène de propagation en directions des pixels qui sont les voisins les plus proches du pixel en analyse et dont les distances sont répertoriées dans le masque de chanfrein. Dans le cas d'une répartition régulière des pixels de l'image, les directions des plus proches voisins d'un pixel ne variant pas sont
30 considérées comme des axes de propagation de la transformée de distance à masque de chanfrein.

L'ordre de balayage des pixels de l'image influe sur la fiabilité des estimations de distance et de leurs mises à jour car les trajets pris en compte en dépendent. En fait, il est soumis à une contrainte de régularité qui fait que
35 si les pixels de l'image sont repérés selon l'ordre lexicographique (pixels

classés dans un ordre croissant ligne par ligne en partant du haut de l'image et en progressant vers le bas de l'image, et de gauche à droite au sein d'une ligne), et si un pixel p a été analysé avant un pixel q alors un pixel $p+x$ doit être analysé avant le pixel $q+x$. Les ordres lexicographique, lexicographique inverse (balayage des pixels de l'image ligne par ligne de bas en haut et, au sein d'une ligne, de droite à gauche), lexicographique transposé (balayage des pixels de l'image colonne par colonne de gauche à droite et, au sein d'une colonne, de haut en bas), lexicographique transposé inverse (balayage des pixels par colonnes de droite à gauche et au sein d'une colonne de bas en haut) satisfont cette condition de régularité et plus généralement tous les balayages dans lesquels les lignes et colonnes sont balayées de droite à gauche ou de gauche à droite. G. Borgefors préconise un double balayage des pixels de l'image, une fois dans l'ordre lexicographique et une autre dans l'ordre lexicographique inverse.

La figure 3a montre, dans le cas d'une passe de balayage selon l'ordre lexicographique allant du coin supérieur gauche au coin inférieur droit de l'image, les cases du masque de chanfrein de la figure 2 utilisées pour répertorier les trajets allant d'un pixel but placé sur la case centrale (case indexée par 0) au pixel source en passant par un pixel du voisinage dont la distance a déjà fait l'objet d'une estimation au cours du même balayage. Ces cases sont au nombre de huit, disposées dans la partie supérieure gauche du masque de chanfrein. Il y a donc huit trajets répertoriés pour la recherche du plus court dont la longueur est prise pour estimation de la distance.

La figure 3b montre, dans le cas d'une passe de balayage selon l'ordre lexicographique inverse allant du coin inférieur droit au coin supérieur gauche de l'image, les cases du masque de chanfrein de la figure 2 utilisées pour répertorier les trajets allant d'un pixel but placé sur la case centrale (case indexée par 0) au pixel source en passant par un pixel du voisinage dont la distance a déjà fait l'objet d'une estimation au cours du même balayage. Ces cases sont complémentaires de celles de la figure 3a. Elles sont également au nombre de huit mais disposées dans la partie inférieure droite du masque de chanfrein. Il y a donc encore huit trajets répertoriés pour la recherche du plus court dont la longueur est prise pour estimation de la distance.

La transformée de distance par propagation dont le principe vient d'être rappelé sommairement a été conçue à l'origine pour l'analyse du positionnement d'objets dans une image mais elle n'a pas tardé à être appliquée à l'estimation des distances sur une carte du relief extraite d'une base de donnée d'élévations du terrain à maillage régulier de la surface terrestre. En effet, une telle carte ne dispose pas explicitement d'une métrique puisqu'elle est tracée à partir des altitudes des points du maillage de la base de données d'élévations du terrain de la zone représentée. Dans ce cadre, la transformée de distance par propagation est appliquée à une image dont les pixels sont les éléments de la base de données d'élévations du terrain appartenant à la carte, c'est-à-dire, des valeurs d'altitude associées aux coordonnées géographiques latitude, longitude des nœuds du maillage où elles ont été mesurées, classés, comme sur la carte, par latitude et par longitude croissantes ou décroissantes selon un tableau à deux dimensions de coordonnées latitude et longitude.

Pour une navigation terrain de mobiles tels que des robots, la transformée de distance à masque de chanfrein est utilisée pour estimer des distances curvilignes tenant compte de zones infranchissables en raison de leurs configurations accidentées. Pour ce faire, un marqueur de zone interdite est associé aux éléments de la base de données d'élévations du terrain figurant dans la carte. Il signale, lorsqu'il est activé, une zone infranchissable ou interdite et inhibe toute mise à jour autre qu'une initialisation, de l'estimation de distance faite par la transformée de distance à masque de chanfrein.

Dans le cas d'un aéronef, la configuration des zones infranchissables évolue en fonction de l'altitude qui lui est imposée par le profil vertical de la trajectoire adoptée dans son plan de vol. Lors de l'élaboration d'une carte de distances curvilignes couvrant la région survolée, cela se traduit par une évolution de la configuration des zones infranchissables au cours des tracés des plus courts chemins dont les longueurs servent d'estimations aux distances curvilignes. Cette évolution, au cours des tracés, de la configuration des zones infranchissables peut conduire à des écarts importants entre les estimations de distances curvilignes faites pour des points géographiquement proches.

10

Pour comprendre ce phénomène, il faut se rappeler la notion de trajectoire au plus court pour un aéronef. Comme montré à la figure 4, une trajectoire au plus court pour un aéronef cherchant à atteindre, depuis sa position actuelle 20, un point visé 21, est constituée, dans le plan horizontal :

- 5 - d'un segment rectiligne 22 lié à l'inertie de l'aéronef durant la mise en virage pour se diriger vers le point visé 21,
- d'un arc de cycloïde 23 correspondant au virage de l'aéronef poussé par le vent de travers jusqu'à atteindre l'azimut du point visé, et
- 10 - d'un segment rectiligne 24 entre la sortie du virage et le point visé 21.

Dans le plan vertical, la trajectoire au plus court est tributaire des possibilités de montée et de descente de l'aéronef ainsi que des altitudes imposées.

- Certains reliefs infranchissables par une trajectoire au plus court,
- 15 le sont néanmoins par une trajectoire de contournement. Les figures 5a, 5b et 6a, 6b en donnent un exemple.

- Le même relief est montré en coupes verticales, selon le profil de la trajectoire au plus court dans la figure 5a et selon le profil d'une trajectoire de contournement dans la figure 6a, et en projections horizontales dans les
- 20 figures 5b et 6b, sous l'apparence de deux strates 30, 31 ou 30', 31. Les figures 5a et 5b montrent un aéronef dans une position courante 32 telle que sa trajectoire au plus court, repérée par ses projections horizontale 33 et verticale 34, intercepte le relief en 35 à la limite commune des strates 30, 31. Les figures 6a et 6b montrent que l'aéronef, dans la même position courante
- 25 32 et dans la même configuration de vol, a néanmoins une possibilité de franchissement du relief illustré par une première strate 30' plus élevée que précédemment 30 et par la même deuxième strate 31, en suivant une trajectoire de contournement montrée en projection horizontale 36 et en projection verticale 37.

- 30 Une carte de distances curvilignes élaborée en vue d'une aide à la navigation d'un aéronef tient compte à la fois des reliefs infranchissables et de ceux uniquement franchissables par des trajectoires de contournement lorsque, au cours des estimations des distances curvilignes, on fait dépendre la configuration des zones infranchissables, de l'altitude instantanée qui
- 35 serait atteinte par l'aéronef le long des différents chemins testés en

11

supposant qu'il respecte un profil vertical de vol imposé correspondant par exemple à celui de son plan de vol. La figure 1 donne un exemple simplifié d'une telle carte de distances curvilignes établie pour l'aide à la navigation d'un aéronef ayant un profil vertical de vol conforme à celui de la figure 7, c'est-à-dire ayant un taux de montée positif FPA_C , comme c'est le cas d'un aéronef après le décollage. Elle a été élaborée à l'aide de la plus simple des transformées de distance proposées par Gunilla Borgefors utilisant un masque de chanfrein de dimension 3x3 avec deux distances de voisinage 3, 4. L'aéronef est supposé être au point S et se déplacer dans le sens de la flèche. La zone de survol couverte présente deux reliefs infranchissables par l'aéronef, l'un 10 complètement infranchissable et l'autre 11 uniquement franchissable par des trajectoires de contournement.

Le fait que le premier relief 10 soit considéré comme complètement infranchissable revient à admettre que l'aéronef n'atteint jamais une altitude suffisante sur les différents chemins testés pour les estimations de distances curvilignes. Dès lors, son contour ne varie pas lors des tracés des différents chemins testés et ses points conservent la valeur infinie de distance curviligne qui leur a été affectée à l'initialisation.

Le deuxième relief 11 est supposé avoir les contours horizontal 110 et vertical 120 montrés à la figure 8. Son profil vertical 120 se rapproche de celui d'un coin, avec un rebord avant, élevé et abrupte 121, par exemple une ligne de falaises, tourné en direction de la position courante S de l'aéronef et menant par une ligne de crêtes descendante 122 à un rebord arrière 123 nettement moins haut. Son rebord avant 121, élevé et tourné vers la position courante S de l'aéronef n'est franchissable qu'à la condition que l'aéronef ait pris une altitude suffisante. Ce n'est pas le cas pour la trajectoire au plus court qui suit les axes de propagation de la transformée à masque de chanfrein ayant pour origine la position courante S de l'aéronef et allant en directions du rebord avant 121 de ce deuxième relief 11. Par contre, l'aéronef aura une altitude suffisante pour franchir ce deuxième relief 11, s'il a pris le temps de le contourner par l'arrière. Lors des parcours des plus courts chemins longeant le deuxième relief 11, le contour de ce deuxième relief 11 se rétrécit par l'arrière jusqu'à s'effacer de sorte que la transformée de distance à masque de chanfrein finit par trouver des chemins praticables

pour tous les points appartenant au deuxième relief 11 qui se voient affecter des estimations de distances curvilignes inférieures à la valeur d'initialisation.

Une carte de distances curvilignes telle que celle montrée à la figure 1, peut servir de base à l'affichage d'une carte de la région survolée
5 faisant apparaître des lignes d'égale distance curviligne formant une sorte de cocarde autour de la position actuelle de l'aéronef et des contours de terrains totalement infranchissables. Cette carte fait également apparaître, par les déformations de la cocarde formée par les lignes d'égale distance curviligne, des bordures de terrain dangereuses car infranchissables par une trajectoire
10 au plus court mais ces déformations sont difficiles à interpréter du regard.

Pour faire mieux ressortir ces bordures dangereuses de terrain, sans pour autant procéder à des calculs compliqués, on propose de se servir des discontinuités entre distances curvilignes de points voisins. Les discontinuités de distance curviligne entre points voisins, sont détectées par
15 balayage des points de la carte de distances curvilignes, au moyen d'un masque de chanfrein répertoriant les valeurs approchées des distances euclidiennes séparant un point de la carte de distances curvilignes de ses plus proches voisins. Au cours du balayage, chaque point de la carte de distances curvilignes est soumis à une analyse par le masque de chanfrein
20 consistant à relever les écarts de distances curvilignes séparant le point en analyse de ses plus proches voisins, à comparer ces écarts avec les valeurs approchées des distances euclidiennes correspondantes du masque de chanfrein et à qualifier le point en analyse de difficile d'accès lorsqu'une différence est constatée entre distances euclidiennes et écarts de distances
25 curvilignes.

Le masque de chanfrein utilisé pour la détection des discontinuités de distances curvilignes entre points voisins peut être de dimensions quelconques. Il est avantageusement, de dimensions 3X3 ou 5X5.

La figure 9 montre les points du voisinage mis en cause lors d'une
30 analyse par un masque de chanfrein de dimension 3X3. Ces points sont les quatre voisins C_{0-1} , C_{01} , C_{-10} , C_{10} les plus proches du point en analyse C_{00} , soit sur la même ligne, soit sur la même colonne, les quatre voisins C_{-1-1} , C_{11} , C_{11} , C_{1-1} les plus proches du point en analyse C_{00} sur les deux diagonales et les huit voisins C_{-1-2} , C_{-2-1} , C_{-21} , C_{-12} , C_{12} , C_{21} , C_{2-1} , C_{1-2} les plus proches du

13

point en analyse C_{00} tout en restant en dehors de sa ligne, de sa colonne ou de ses diagonales.

Une manière de procéder à l'analyse d'un point par le masque de chanfrein est illustrée par l'organigramme logique de la figure 10. Celle ci

5 consiste :

- au cours d'une première étape 201, à lire la valeur estimée $DT(0)$ de la distance curviligne affectée, dans la carte de distances curvilignes, au point C_{00} en analyse,
- 10 - au cours d'une deuxième étape 202, à scruter un point particulier V du proche voisinage du point C_{00} en analyse, préféablement un point à la périphérie du masque de chanfrein, par exemple le point C_{-21} ,
- au cours d'une troisième étape 203, à lire la valeur $C(V)$ de la distance euclidienne séparant, selon le masque de chanfrein, le point V en scrutation, du point en analyse C_{00} ,
- 15 - au cours d'une quatrième étape 204, à lire la valeur estimée $DT(V)$ de la distance curviligne affectée, dans la carte de distances curvilignes, au point V en scrutation,
- au cours d'une cinquième étape 205, à comparer la valeur absolue de l'écart entre les valeurs estimées $DT(0)$ et $DT(V)$ des distances curvilignes lues aux première 201 et quatrième 204 étapes avec la valeur de distance euclidienne $C(V)$ lue à la troisième étape 203 pour constater s'il y a ou non égalité,
- 20 - au cours d'une sixième étape 206, à signaler une difficulté d'accès et changer le point C_{00} en analyse si la comparaison de la quatrième étape 204 aboutit au constat d'une inégalité,
- 25 - au cours d'une septième étape 207 alternative de la sixième étape 206 au cas d'un constat d'égalité en fin de quatrième étape 204, à tester si tous les points du proche voisinage du point C_{00} en cours d'analyse, répertoriés dans le masque de chanfrein ont été scrutés,
- 30 - au cours d'une huitième étape 208, à ne pas détecter de discontinuité pour le point analysé C et à changer de point analysé C_{00} si tous les points V de son proche voisinage, répertoriés dans le masque de chanfrein ont été scrutés,

14

- au cours d'une neuvième étape 209, à changer de point scruté V et à reboucler sur la troisième étape 203 si tous les points V du proche voisinage du point C_{00} en cours d'analyse, repérés dans le masque de chanfrein n'ont pas été scrutés.

5 Le test de fin de scrutation de tous les points du proche voisinage, répertoriés par le masque de chanfrein effectué à la septième étape 207 peut se faire sur la valeur maximale d'un indice auxiliaire de dénombrement de ces points qui peuvent être toujours sélectionnés tour à tour, selon le même ordre, en commençant par les plus éloignés pour lesquels la probabilité
10 d'une discontinuité est la plus grande et en finissant par les plus proches. Cet ordre de sélection est par exemple, en reprenant l'indexation de la figure 9, : C_{-21} , C_{-12} , C_{12} , C_{21} , C_{2-1} , C_{1-2} , C_{-1-2} , C_{-2-1} , C_{-1-1} , C_{-11} , C_{11} , C_{1-1} , C_{0-1} , C_{-10} , C_{01} , C_{10} .

Le signalement d'une difficulté d'accès pour un point de la carte de
15 distances curvilignes peut se faire au moyen d'un pointeur de difficulté d'accès associé à l'estimation de distance curviligne et utilisé pour modifier l'aspect des points sur la carte affichée en fonction de son état activé ou non. Le pointeur de difficulté d'accès peut présenter plusieurs valeurs correspondant à plusieurs valeurs de seuils pour les écarts d'estimations de
20 distance curviligne séparant un point en analyse de ses proches voisins afin de permettre d'afficher l'importance des contournements nécessaires par des différences de motif et/ou texture.

L'analyse de discontinuité de distances curvilignes entre points voisins fait ressortir les rebords de terrains inaccessibles par une trajectoire
25 au plus court comme le relief 11 sur la figure 1 qui peuvent être montrés avec une texture ou un motif particulier sur la carte affichée, par exemple un surlignage comme en 12 figure 1. Elle fait également ressortir les contours des terrains totalement inaccessibles comme le relief 10 de la figure 1 mais cela présente moins d'intérêt, ces terrains pouvant être repérés facilement
30 par la valeur d'initialisation des estimations des distances curvilignes de leurs points.

REVENDICATIONS

1. Procédé de repérage de points difficiles d'accès sur une carte
5 topologique établie à partir d'une carte de distances curvilignes caractérisé
en ce que l'on analyse la carte de distances curvilignes, au moyen d'un
masque de chanfrein répertoriant les valeurs approchées $C(V)$ des distances
euclidiennes séparant un point C_{00} de la carte de ses plus proches voisins V ,
pour en extraire, en chaque point C_{00} de la carte de distances curvilignes, les
10 écarts $|DT(V) - DT(0)|$ de distances curvilignes séparant le point considéré C_{00}
de ses plus proches voisins V , comparer ces écarts $|DT(V) - DT(0)|$ avec les
valeurs approchées $C(V)$ des distances euclidiennes du masque de
chanfrein et qualifier le point considéré de difficile d'accès lorsqu'une
différence apparaît.

15

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que
plusieurs seuils sont utilisés lors de la comparaison des écarts de distances
curvilignes et distances euclidiennes, afin de ménager des degrés dans
l'importance du contournement nécessaire pour atteindre un point difficile
20 d'accès.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les
points de la carte de distances curvilignes qualifiés de difficiles d'accès sont
repérés sur la carte topologique établie à partir de la carte de distances
25 curvilignes par un motif et/ou une texture particulière.

4. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que les
degrés dans l'importance du contournement nécessaire d'un point difficile
d'accès sont mis en évidence sur la carte topologique par des motifs et/ou
30 textures différents.

5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le
masque de chanfrein utilisé pour le repérage des points difficiles d'accès est
de dimension 3x3.

35

16

6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le masque de chanfrein utilisé pour le repérage des points difficiles d'accès est de dimension 5x5.

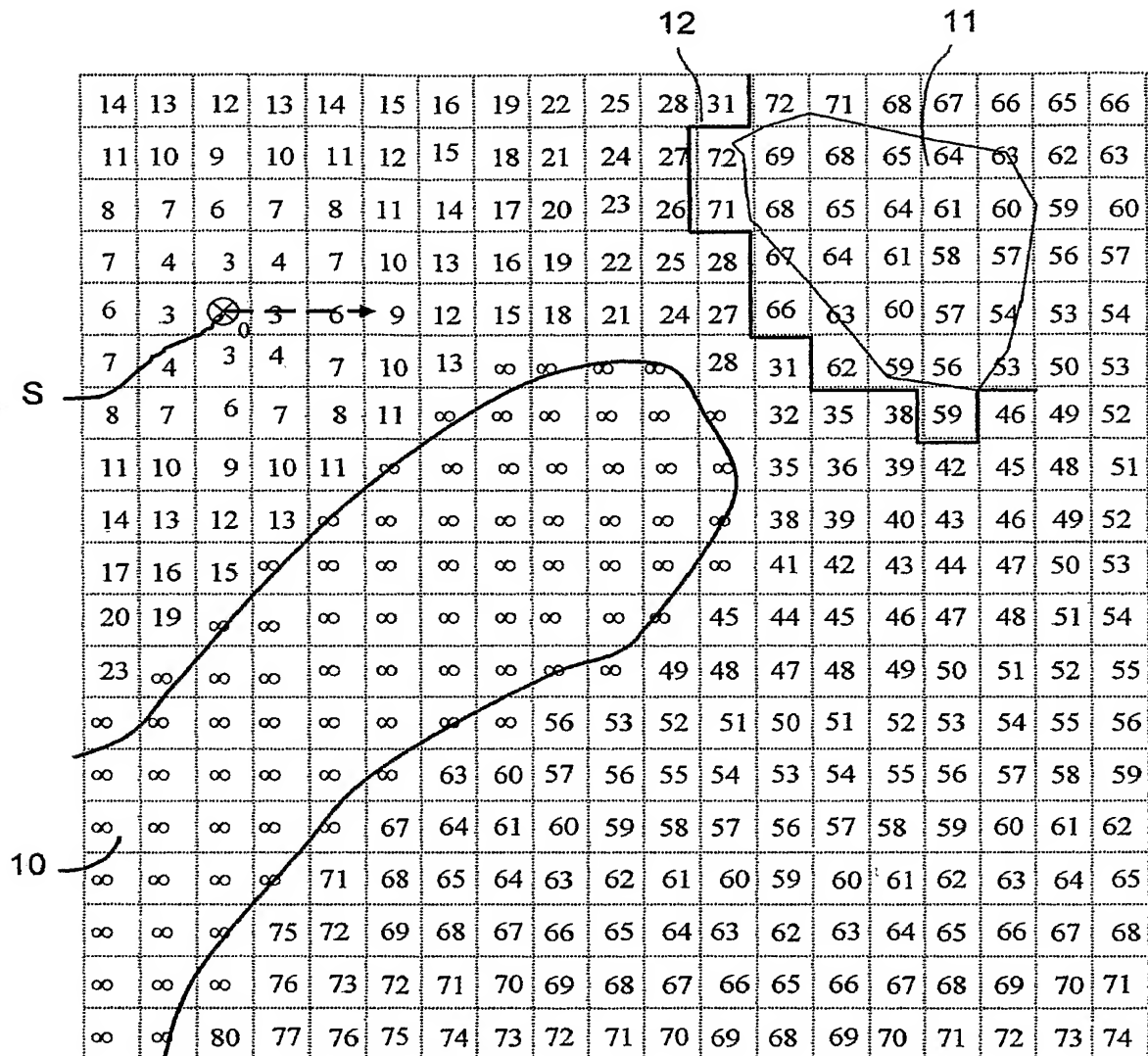


FIG.1

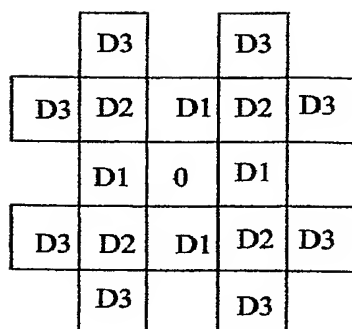


FIG. 2

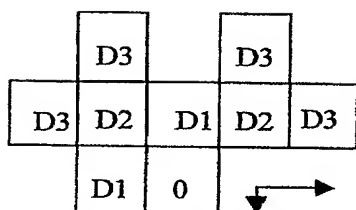


FIG. 3a

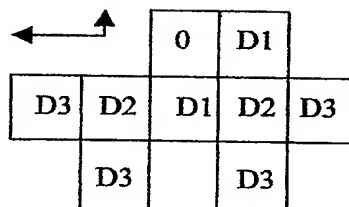


FIG. 3b

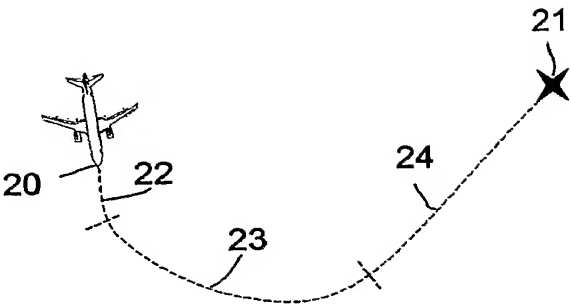


FIG. 4

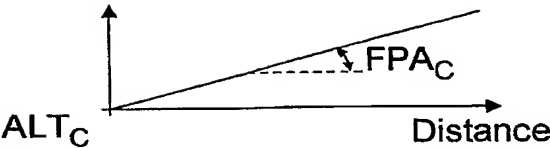


FIG 7

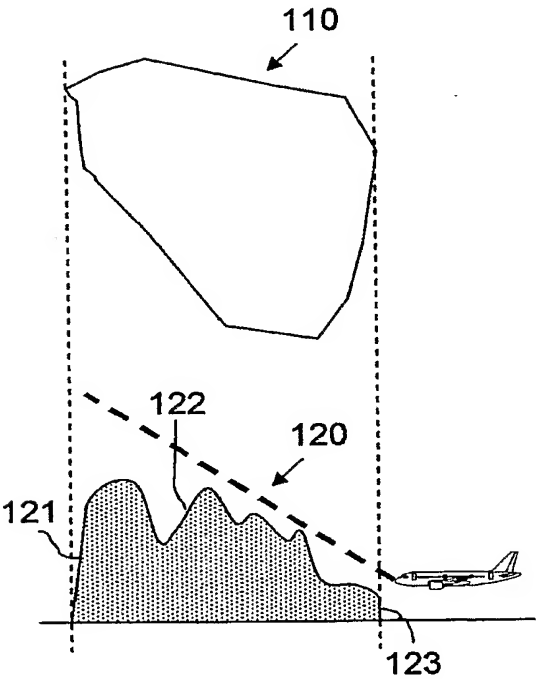


FIG. 8

	C_{2-1}		C_{21}	
C_{1-2}	C_{1-1}	C_{10}	C_{11}	C_{12}
	C_{0-1}	C_{00}	C_{01}	
C_{-1-2}	C_{-1-1}	C_{-10}	C_{-11}	C_{-12}
	C_{-2-1}		C_{-21}	

FIG. 9

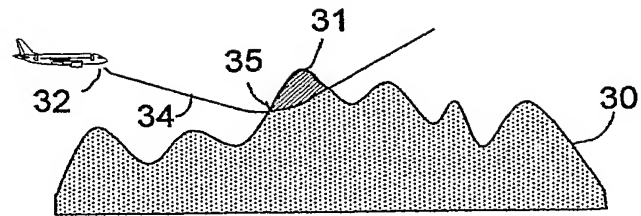


FIG. 5a

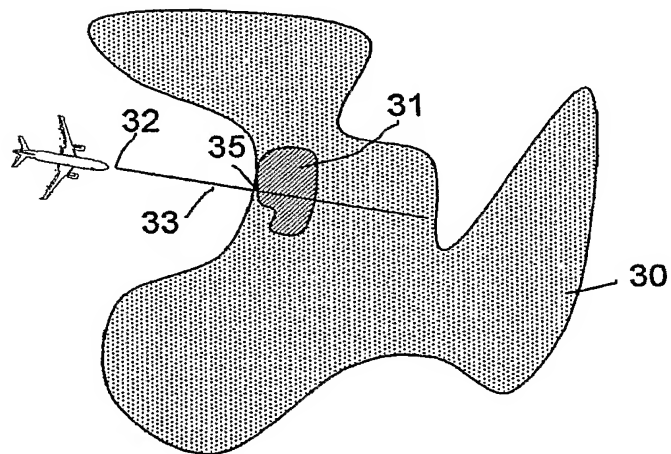


FIG. 5b

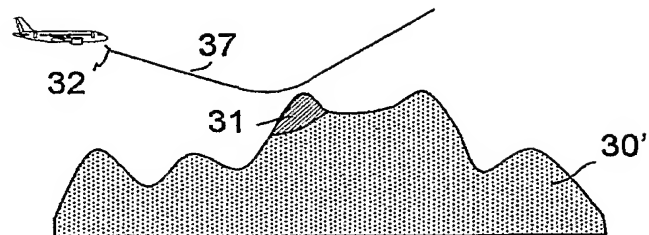


FIG. 6a

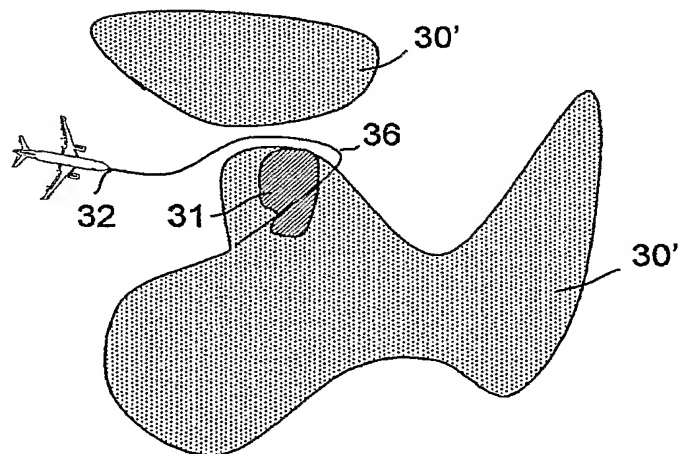


FIG. 6b

6/6

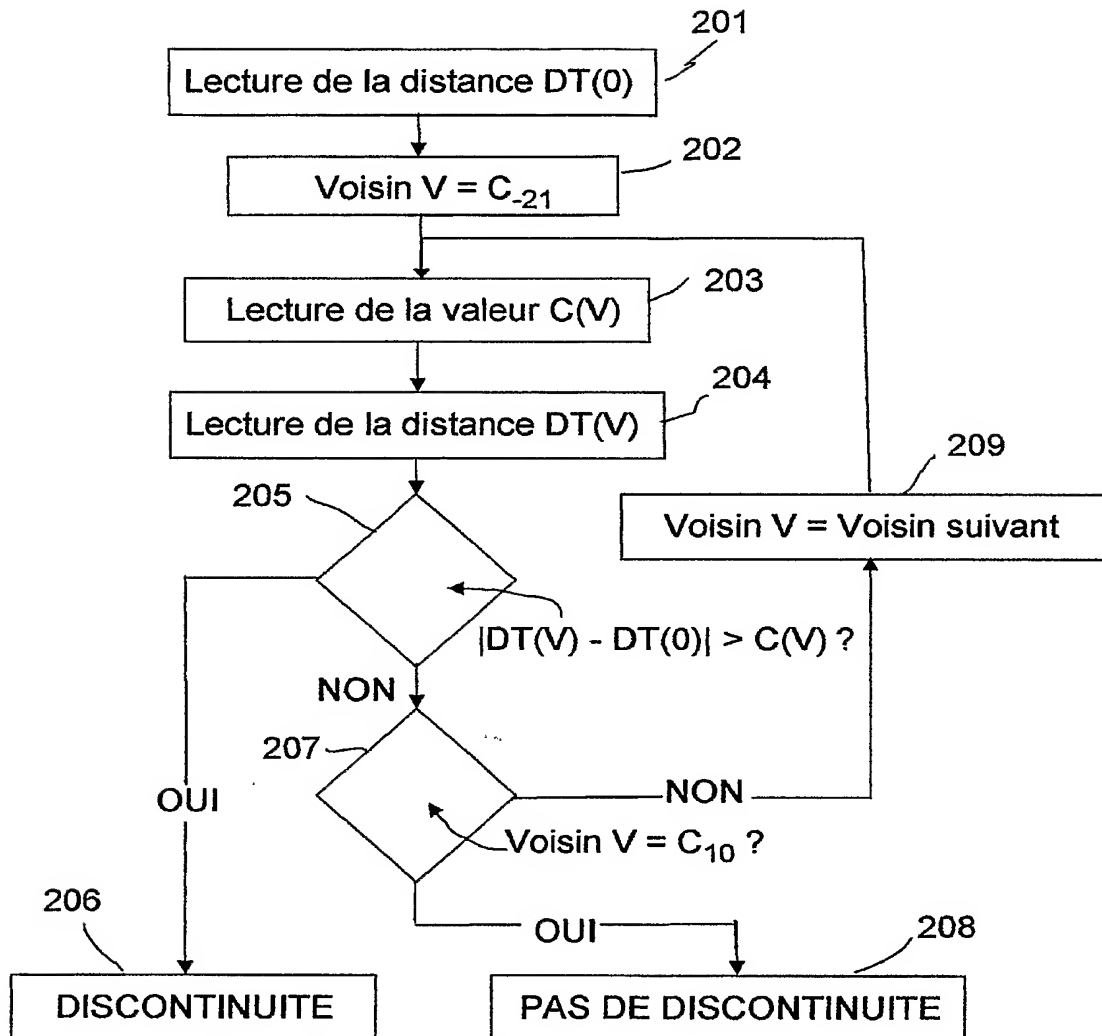


FIG.10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/050770

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01C5/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G01C G08G

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2003/107499 A1 (LEPERE GERARD ET AL) 12 June 2003 (2003-06-12) abstract paragraph '0040! - paragraph '0043! paragraph '0103! - paragraph '0108! -----	1
A	FR 2 773 609 A (DASSAULT ELECTRONIQUE) 16 July 1999 (1999-07-16) abstract -----	1
A	HORNG J-H ET AL: "Vehicle path planning by using adaptive constrained distance transformation" PATTERN RECOGNITION, ELSEVIER, KIDLINGTON, GB, vol. 35, no. 6, June 2002 (2002-06), pages 1327-1337, XP004341798 ISSN: 0031-3203 the whole document -----	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 May 2005

Date of mailing of the international search report

01/06/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

de Bakker, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2005/050770

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
US 2003107499	A1	12-06-2003	FR	2813963 A1		15-03-2002
			CA	2390230 A1		14-03-2002
			EP	1316004 A2		04-06-2003
			WO	0221229 A2		14-03-2002
<hr/>						
FR 2773609	A	16-07-1999	FR	2773609 A1		16-07-1999
			CA	2256874 A1		12-07-1999
			EP	0928952 A1		14-07-1999
			JP	11259799 A		24-09-1999
			RU	2211489 C2		27-08-2003
			UA	61915 C2		15-09-2000
			US	6088654 A		11-07-2000
<hr/>						

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No
PCT/EP2005/050770

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE CIB 7 G01C5/00		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) CIB 7 G01C G08G		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2003/107499 A1 (LEPERE GERARD ET AL) 12 juin 2003 (2003-06-12) abrégé alinéa '0040! - alinéa '0043! alinéa '0103! - alinéa '0108! -----	1
A	FR 2 773 609 A (DASSAULT ELECTRONIQUE) 16 juillet 1999 (1999-07-16) abrégé -----	1
A	HORNG J-H ET AL: "Vehicle path planning by using adaptive constrained distance transformation" PATTERN RECOGNITION, ELSEVIER, KIDLINGTON, GB, vol. 35, no. 6, juin 2002 (2002-06), pages 1327-1337, XP004341798 ISSN: 0031-3203 le document en entier -----	1
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe </div>		
<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>° Catégories spéciales de documents cités:</p> <p>*A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>*E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>*L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>*O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>*P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>*T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>*X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>*Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>*Z* document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </div> </div>		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée <div style="text-align: center; font-weight: bold;">25 mai 2005</div>		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale <div style="text-align: center; font-weight: bold;">01/06/2005</div>
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé <div style="text-align: center; font-weight: bold;">de Bakker, M</div>

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/EP2005/050770

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2003107499 A1	12-06-2003	FR 2813963 A1	15-03-2002
		CA 2390230 A1	14-03-2002
		EP 1316004 A2	04-06-2003
		WO 0221229 A2	14-03-2002
FR 2773609 A	16-07-1999	FR 2773609 A1	16-07-1999
		CA 2256874 A1	12-07-1999
		EP 0928952 A1	14-07-1999
		JP 11259799 A	24-09-1999
		RU 2211489 C2	27-08-2003
		UA 61915 C2	15-09-2000
		US 6088654 A	11-07-2000